

doi: 10.12029/gc20200229002

李利阳, 张传恒, 韩瑶, 石成龙, 刘博, 刘根源. 2023. 大兴安岭乌奴尔地区白音高老组流纹岩锆石 U-Pb 年龄及形成地质背景讨论[J]. 中国地质, 50(5): 1532-1541.

Li Liyang, Zhang Chuanheng, Han Yao, Shi Chenglong, Liu Bo, Liu Genyuan. 2023. Zircon U-Pb age and geological background of rhyolite from Baiyingaolao Formation in Wunuer area, Great Xing'an Range[J]. Geology in China, 50(5): 1532-1541(in Chinese with English abstract).

大兴安岭乌奴尔地区白音高老组流纹岩锆石 U-Pb 年龄及形成地质背景讨论

李利阳¹, 张传恒², 韩瑶³, 石成龙⁴, 刘博¹, 刘根源⁵

(1. 中国地质调查局廊坊自然资源综合调查中心, 河北 廊坊 065000; 2. 中国地质大学(北京), 北京 100083; 3. 山东省地质环境监测总站, 山东 济南 250014; 4. 中国地质科学院地质研究所, 北京 100037; 5. 中国地质调查局地球物理调查中心, 河北 廊坊 065000)

摘要:【研究目的】大兴安岭分布着中国东北最大的中生代火山岩带, 白音高老组是该中生代火山岩重要组成部分, 白音高老组的年代学及地球化学特征可为大兴安岭地区构造演化提供基础地质资料。【研究方法】本文对大兴安岭乌奴尔地区白音高老组流纹岩进行了 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 测年和岩石地球化学测试。【研究结果】流纹岩锆石 U-Pb 年龄为 (127.6 ± 1.2) Ma, 属早白垩世。岩石地球化学数据显示, 岩体属高硅高钾弱过铝质钙碱性系列。岩石整体富集大离子亲石元素 K、Rb、Ba, 亏损大离子亲石元素 Sr 和高场强元素 Nb、P、Ti, LREE 相对富集, HREE 相对亏损, 具有中等的富 Eu 异常 ($\delta Eu = 0.49 \sim 0.87$)。【结论】综合区域地质特征及本次研究认为, 大兴安岭乌奴尔地区白音高老组流纹岩的形成构造背景可能与古太平洋板块向欧亚大陆之下俯冲作用有关。

关键词: 白音高老组; 流纹岩; 锆石 U-Pb 年龄; 地球化学特征; 地质调查工程; 大兴安岭; 内蒙古

创 新 点: 大兴安岭乌奴尔地区白音高老组流纹岩的形成构造背景可能与古太平洋板块向欧亚大陆之下俯冲作用有关。

中图分类号: P597 文献标志码: A 文章编号: 1000-3657(2023)05-1532-10

Zircon U-Pb age and geological background of rhyolite from Baiyingaolao Formation in Wunuer area, Great Xing'an Range

LI Liyang¹, ZHANG Chuanheng², HAN Yao³, SHI Chenglong⁴, LIU Bo¹, LIU Genyuan⁵

(1. Langfang Natural Resources Comprehensive Investigation Center of China Geological Survey, Langfang 065000, Hebei, China; 2. School of Earth Sciences and Resources, China University of Geosciences (Beijing), Beijing 100083, China; 3. Shandong Geological Environmental Monitoring Station, Jinan 250014, Shandong, China; 4. Institute of Geology, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing 100037, China; 5. Geophysical Survey Center of China Geological Survey, Langfang 065000, Hebei, China)

收稿日期: 2020-02-29; 改回日期: 2021-07-11

基金项目: 中国地质调查局项目“内蒙古高吉山林场、哈拉沟幅 1:5 万区域地质矿产调查项目(DD2016007808)及内蒙古化德—河北康保德包图等 4 幅 1:5 万区域地质调查项目(DD20208003)”的资助。

作者简介: 李利阳, 男, 1989 年生, 硕士, 主要从事沉积地质学与环境分析; E-mail: 406054622@qq.com。

Abstract: This paper is the result of geological survey engineering.

[Objective] The Baiyingaolao Formation is an important part of the Mesozoic volcanic rocks in Great Xing'an Range, Northeastern China, and the geochronology and geochemistry characteristics of the Baiyingaolao Formation can provide basic geological data for the tectonic evolution of Great Xing'an Range. **[Methods]** In this paper, LA-ICP-MS zircon U-Pb age and geochemistry of the rhyolites in Baiyingaolao Formation from Wunuer area in Great Xing'an Range have been carried out. **[Results]** The testing results indicate that the LA-ICP-MS zircon U-Pb crystallization age is $(127.6 \pm 1.2 \text{Ma})$ Ma, which belongs to Early Cretaceous. The rhyolites belong to high-SiO₂, high-K peraluminous, calcalkaline series. The rhyolites are enriched in Rb, Ba, K, depleted in Sr and Nb, P, Ti, and LREE is enriched and HREE is relatively depleted, with moderate Eu-rich anomaly ($\delta \text{Eu} = 0.49 \sim 0.87$). **[Conclusions]** Combined with regional geological characteristics, the tectonic setting of rhyolites in Baiyingaolao Formation from Wunuer area in Great Xing'an Range may be related to the subduction of Pacific plate.

Key words: Bainigaolaozu Formation; rhyolites; zircon U-Pb age; geochemistry characteristics; geological survey engineering; Great Xing'an Range; Inner Mongolia

Highlights: The tectonic setting of rhyolites in Baiyingaolao Formation from Wunuer area in Great Xing'an Range may be related to the subduction of Pacific plate.

About the first author: LI Liyang, male, born in 1989, master, mainly engaged in sedimentary geology and environment analysis; E-mail: 406054622@qq.com.

Fund support: Supported by the projects of China Geological Survey "Regional Geology and Mineral Resources Survey in 1:50000 Gaojishan and Halagou Sheets, Inner Mongolia" (No.DD2016007808) and "Regional Geology and Mineral Resources Survey in 1:50000 Debaotu and Other Three Sheets, Inner Mongolia" (No.DD20208003).

1 引言

大兴安岭火山岩带是中国东部中生代巨型火山岩带的重要组成部分,该火山岩带呈北北东向位于西伯利亚板块与华北板块缝合带之上,分布面积大,岩石种类多样,地球化学特征及形成的构造背景较为复杂。研究区位于大兴安岭火山岩带上,晚侏罗世、早白垩世火山岩分布广泛,白音高老组是晚中生代火山岩重要组成部分,代表了一次重要岩浆活动事件,前人对大兴安岭地区白音高老组火山岩做了不少研究,但目前关于白音高老组的时代归属及大地构造背景还存在一些争议。总的来说,时间归属方面主要有2种观点:(1)邵积东等(2011)根据化石资料认为白音高老组属晚侏罗世;(2)苟军等(2000)、王建国等(2013)、张吉衡(2005,2009)和张建等(2021)根据同位素年龄数据认为白音高老组应属早白垩世。构造背景主要有3种观点:(1)林强等(1998,2003)、葛文春等(1999,2000)和剡鹏兵等(2023)认为与地幔柱活动或相关的板内作用密切相关;(2)赵越等(1994)、Zhang et al.(2008)和杨雅军等(2022)认为形成于古太平洋板块的俯冲作用及俯冲后的伸展;(3)Meng(2003)、孙德有等

(2011)、李世超等(2013)、张乐彤等(2015)和李玉娟(2021)认为是蒙古—鄂霍茨克洋闭合后的造山后伸展作用下的产物。本文对大兴安岭乌奴尔地区白音高老组流纹岩进行锆石U-Pb年龄测定,确定其形成时代,对流纹岩进行地球化学分析,进一步探讨白音高老组火山岩构造背景。

2 区域地质概况

研究区位于内蒙古自治区呼伦贝尔盟牙克石市南部,距市区约80 km,古生代大地构造位置属于天山—兴蒙造山系之大兴安岭弧盆系,中生代受鄂霍茨克洋闭合和环太平洋构造域的双重影响,北东向断裂发育、形成了一系列受北东向断裂构造控制的火山隆起和火山断(拗)陷盆地,发生强烈的火山活动,其中晚侏罗世—早白垩世火山岩分布广泛(图1)。

研究区中生代火山岩出露广泛,由老到新依次为满克头鄂博组、玛尼吐组、白音高老组和梅勒图组,其中满克头鄂博组、白音高老组分布最广,主要为酸性火山岩及相应的火山碎屑岩。玛尼吐组位于满克头鄂博组与白音高老组之间,主要为中性火山岩及相应的火山碎屑岩,与下伏满克头鄂博组整

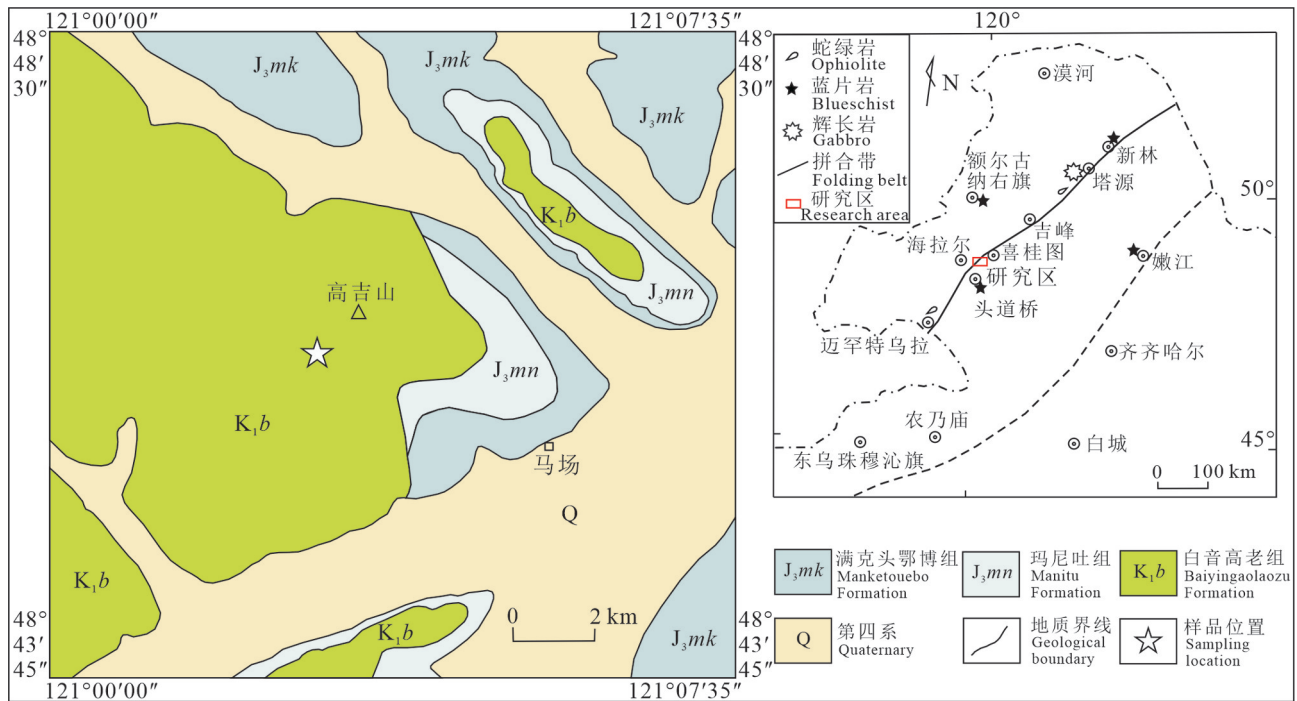


图1 研究区地质简图及采样位置图

Fig.1 Simplified geological map of research area and sampling position

合接触,与上覆白音高老组平行不整合接触。梅勒图组少量出露,主要为一套安山质-玄武质火山熔岩及相应的火山碎屑岩,与白音高老组呈火山喷发不整合接触。研究区的白音高老组岩性主要为流纹岩、流纹质晶屑凝灰岩、流纹质岩屑晶屑凝灰岩、流纹质含角砾晶屑凝灰岩、流纹质熔结凝灰岩、流纹质含角砾熔结凝灰岩等。

3 岩石学特征

本文的主要研究对象为乌奴尔地区白音高老组流纹岩,风化面灰紫色、灰褐色,新鲜面紫红色,斑状结构,流纹构造。斑晶主要为石英和斜长石,石英呈自形一半自形,无色透明,粒径0.1~0.25 mm,斜长石呈自形板状,聚片双晶,无色,粒径0.2~2.0 mm;基质主要为长英质,呈霏细结构(图2a、b)。

4 地球化学特征

岩石地球化学测试样品均为未风化、未蚀变的新鲜样品,采自岩石地表。样品在核工业北京地质研究院分析中心测试,首先将要测试的样品粉碎,研磨至200目下的粉末备用,主量元素用X射线荧光分析,使用仪器为AB104L,AL104,AxiosmAX X

射线荧光光谱仪,检测方法和依据参照《硅酸盐岩石化学分析方法 第14部分:氧化亚铁量测定》(GB/T1450614-2010),《硅酸盐岩石化学分析方法 第28部分:16个主次成分量测定》(GB/T1450628-2010),微量元素采用NexION300D等离子体质谱仪,检测方法和依据参照《硅酸盐岩石化学分析方法 第30部分:44个元素量测定》(GB/T1450630-2010)。

4.1 主量元素

白音高老组流纹岩样品分析结果(表1)表明:样品具有较高的 SiO_2 (68.38%~79.82%), Al_2O_3 (10.82%~15.6%) 和 K_2O (4.14%~4.83%) 含量以及较低的 MgO (0.08%~0.64%);全碱含量(K_2O+Na_2O)为7.44%~9.37%,均值为8.72%, K_2O/Na_2O 为1.00%~1.84%,均值为1.26%,整体表现出富碱、钾高钠低的特点,属富碱的钾质岩石,里特曼指数 σ 为1.50~3.13,碱度率(AR)为2.74~3.50,为钙碱性,铝饱和指数 A/CNK 为1.01~1.06,为过铝质,固结指数 $SI=1.10\sim 5.38$,小于40,表明样品经历了明显的结晶分异作用。分异指数 $DI=85.55\sim 94.10$,表明分异程度较高。

TAS图解中(图3a),样品几乎全部落在流纹岩区,均落入亚碱性区。微量元素岩石定名 $Nb/Y-SiO_2$ 分类图解中(图3b),样品落于流纹岩、流纹英

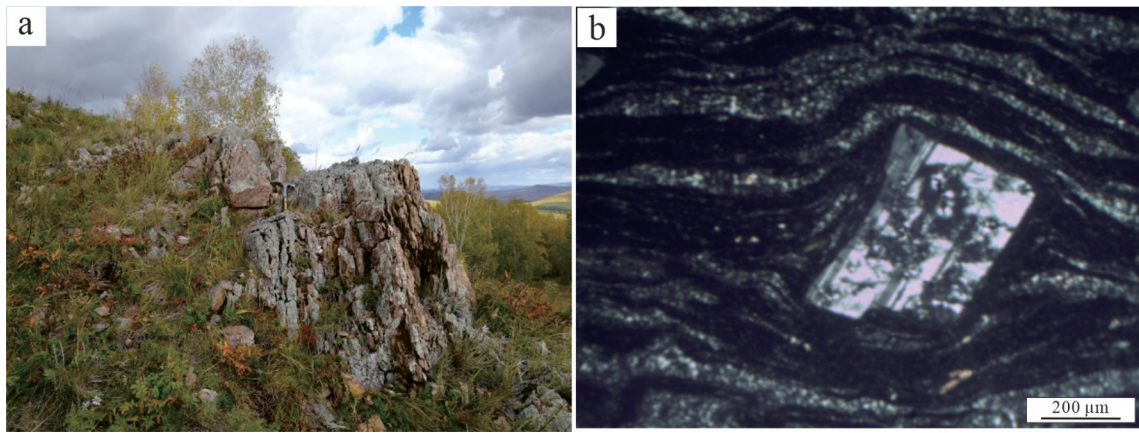


图2 流纹岩野外特征(a)和显微镜下流纹构造(b)

Fig.2 Field characteristics (a) and microscopical rhythm structure (b) of the rhyolites

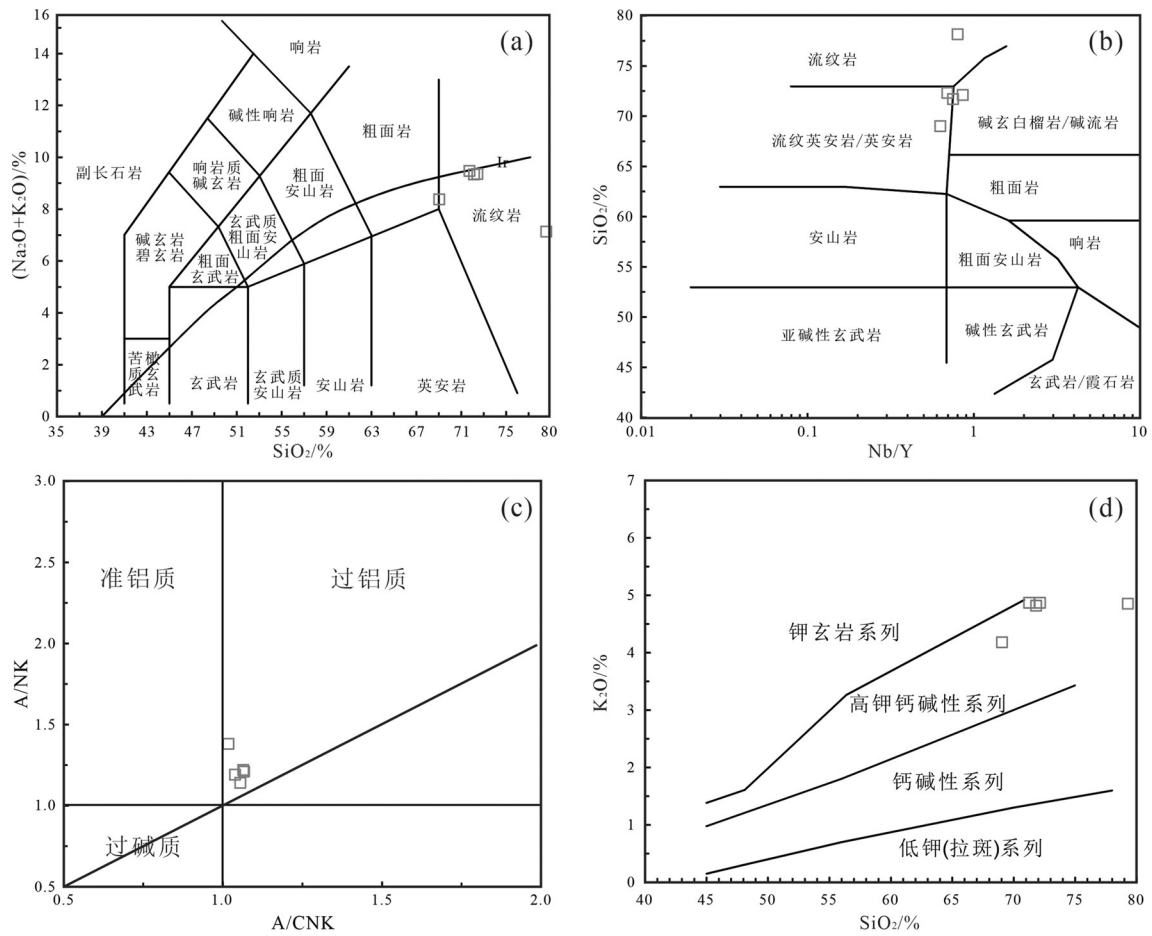


图3 白音高老组流纹岩地球化学判别图

a—TAS分类图; b—Nb/Y—SiO₂分类图; c—A/CNK—A/NK判别图; d—SiO₂—K₂O图解

Fig.3 Geochemical discrimination diagrams for rhyolites in Baiyingaolao Formation

a—TAS diagram; b—Nb/Y—SiO₂ diagram; c—A/CNK—A/NK diagram; d—SiO₂—K₂O diagram

表 1 白音高老组流纹岩主量元素(%)分析结果
Table 1 The result of major elements (%) for rhyolites in Baiyingaolao Formation

样号	61	64	71	72	73
SiO ₂	68.38	79.82	71.3	71.02	71.67
TiO ₂	0.40	0.15	0.29	0.29	0.29
Al ₂ O ₃	15.60	10.82	15.26	15.41	14.93
TFe ₂ O ₃	3.18	0.28	1.28	1.45	1.37
FeO	1.14	0.20	0.41	0.44	0.67
MnO	0.06	0.02	0.03	0.03	0.03
MgO	0.64	0.08	0.23	0.22	0.29
CaO	2.21	0.40	1.02	0.96	1.03
Na ₂ O	4.15	2.62	4.44	4.55	4.42
K ₂ O	4.14	4.82	4.79	4.82	4.83
P ₂ O ₅	0.14	0.02	0.06	0.13	0.05
烧失量	0.98	0.96	1.18	1.01	1.06
Na ₂ O+K ₂ O	8.29	7.44	9.23	9.37	9.25
K ₂ O/Na ₂ O	1.00	1.84	1.08	1.06	1.09
A/CNK	1.01	1.05	1.06	1.06	1.03
AR	2.74	2.75	3.40	3.50	3.48
σ	2.70	1.50	3.01	3.13	2.98
DI	85.55	94.10	91.15	91.45	91.78
SI	5.38	1.10	2.19	2.02	2.71

注: AR=[Al₂O₃+CaO+(Na₂O+K₂O)]/[Al₂O₃+CaO-(Na₂O+K₂O)],
σ=(Na₂O+K₂O)²/(SiO₂-43), DI=Qz+Or+Ab+Ne+Lc+Kp, SI=MgO×100/
(MgO+FeO+Fe₂O₃+Na₂O+K₂O)。

安岩/英安岩、钠闪碱流岩/碱流岩交界处,总体呈酸性。在A/CNK-A/NK判别图解(图3c)中均落于过铝质区。在SiO₂-K₂O图解中(图3d)样品落入高钾

钙碱性区。综上所述,样品为高硅、高钾、富碱、贫镁、弱过铝质高钾钙碱性系列。

4.2 微量元素

岩石微量元素分析结果、元素比值及特征参数(表2)及微量元素蛛网图(图4a)显示,整体表现出大离子亲石元素K、Rb、Ba相对富集,亏损大离子亲石元素Sr和高场强元素Nb、P、Ti,可能是成岩过程中钛铁矿、斜长石、磷灰石等矿物的分离结晶所致。Rb/Sr为0.64~2.47(Rb/Sr>0.5),Ti/Zr为7.04~13.01(Ti/Zr<20),Sr/Ba为0.10~0.51,Nb/Ta为10.91~12.96,Zr/Hf为27.56~37.27,U/Th为0.17~0.24,具有壳源岩浆的特点,暗示地壳物质可能参与了岩浆演化。

4.3 稀土元素

白音高老组火山岩稀土元素含量特征(表2)表现为:稀土总量ΣREE较高,ΣREE=157.44×10⁻⁶~191.75×10⁻⁶。轻重稀土比值LREE/HREE为10.23~13.08,均值为11.34,(La/Yb)_N为11.66~16.24,均值为13.97,(Ce/Yb)_N为8.53~11.52,均值为9.96,(La/Sm)_N为5.63~7.36,均值为6.07,(Gd/Yb)_N为1.58~2.04,均值为1.83,(La/Lu)_N为11.08~15.49,均值为13.02,表明轻、重稀土分异明显,轻稀土分馏程度较高,重稀土分馏程度较低。稀土配分曲线表现为右倾模式(图4b),δEu为0.49~0.87,负Eu异常明显,暗示地壳物质可能参与了岩浆演化。

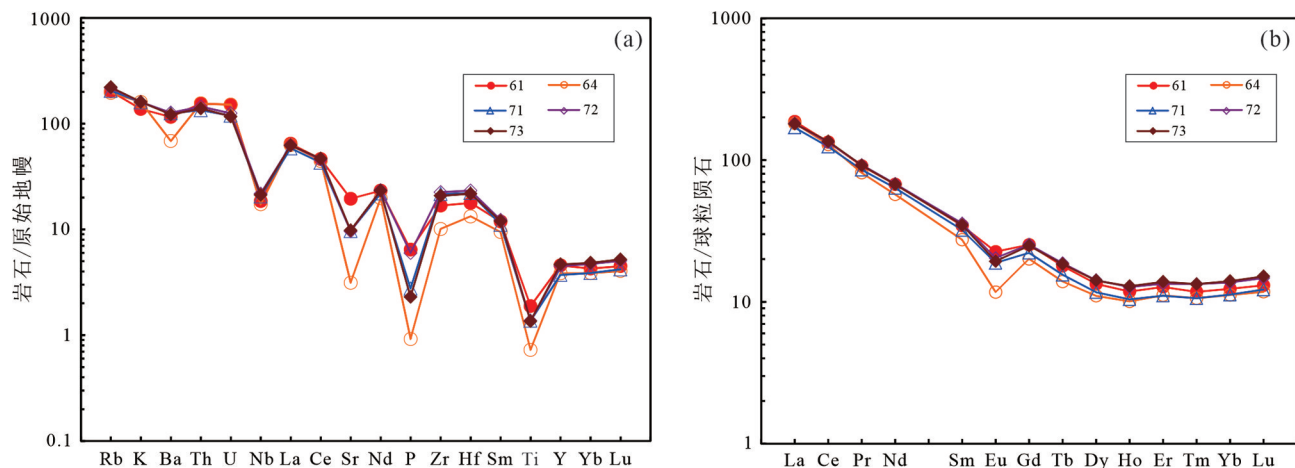


图4 原始地幔标准化微量元素蛛网图(a)和球粒陨石标准化稀土元素配分模式图(b)(据Sun and McDonough, 1989)
Fig.4 The primitive mantle-normalized trace elements patterns (a) and the chondrite-normalized REE patterns (b) (normalization values after Sun and McDonough, 1989)

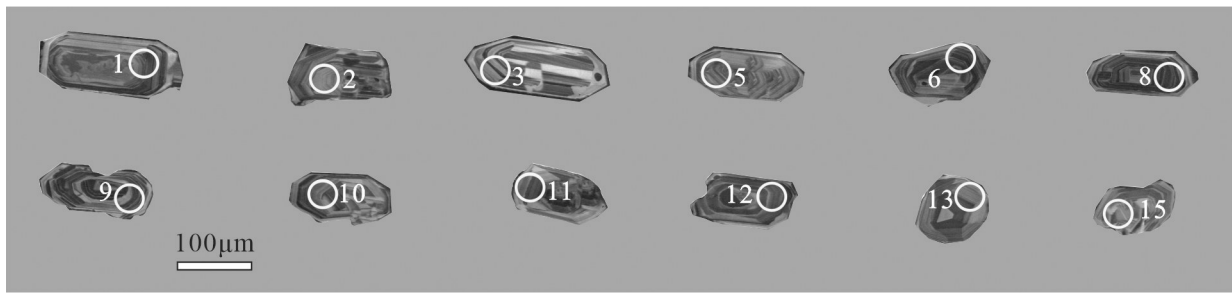


图5 白音高老组流纹岩(U-Pb20171008)锆石CL照片
Fig.5 Zircon CL images of rhyolites in Baiyingaolao Formation

5 年代学

锆石分选由河北省区域地质矿产调查研究所实验室完成。经重液浮选和电磁分离分选后,在双目镜下挑选出晶型完好、透明度高、无包裹体和无裂纹的锆石颗粒作为测定对象。挑选好的锆石和标样一起固定在环氧树脂中抛光制靶,进行阴极发光、透射光和单偏光照相。锆石阴极发光(CL)图像分析在北京锆石领航科技有限公司高分辨热场发射能谱阴极发光室进行,锆石原位LA-ICP-MS锆石U-Pb年龄分析测年在北京科荟测试技术有限公司进行,对测试数据进行普通铅校正,年龄计算和谐和图绘制采用Isoplot程序。

样品(U-Pb20171008)为紫红色流纹岩(取样点位置:121°01'03"E,48°46'36"N),所采样品新鲜无蚀变,重约5 kg,本次研究对所选15颗锆石进行U-Pb

测年,锆石阴极发光(CL)图像显示,锆石形态多为长柱状,少数为自形或半自形短柱状,个别晶形不完整且颗粒大小不一,Th含量 $70.3 \times 10^{-6} \sim 389.6 \times 10^{-6}$,U含量为 $77.4 \times 10^{-6} \sim 543.1 \times 10^{-6}$,Th/U为0.48~2.01,均大于0.4(表3),具有典型的岩浆生长振荡环带和韵律结构,属于岩浆结晶的产物(图5),锆石粒度多在100~200 μm,柱状晶体长宽比多为1.5~2.0。锆石晶体测定位置的选取,需要结合透射光、反射光和CL图像,以避开锆石晶体中的裂纹和包裹体,选取的分析点均位于明显的岩浆环带部位。

测定结果(表3)显示,15个数据中,除3个数据谐和度较低外(20171008-04、66%; 20171008-07、61%; 20171008-14、73%),剩余12个数据谐和度均大于80%,可参加年龄计算,12个数据的锆石 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年龄值为 $(124.9 \pm 2.6) \sim (132.4 \pm 2.7)$ Ma,加权平均值为 (127.6 ± 1.2) Ma,MSWD=1.17(图6),

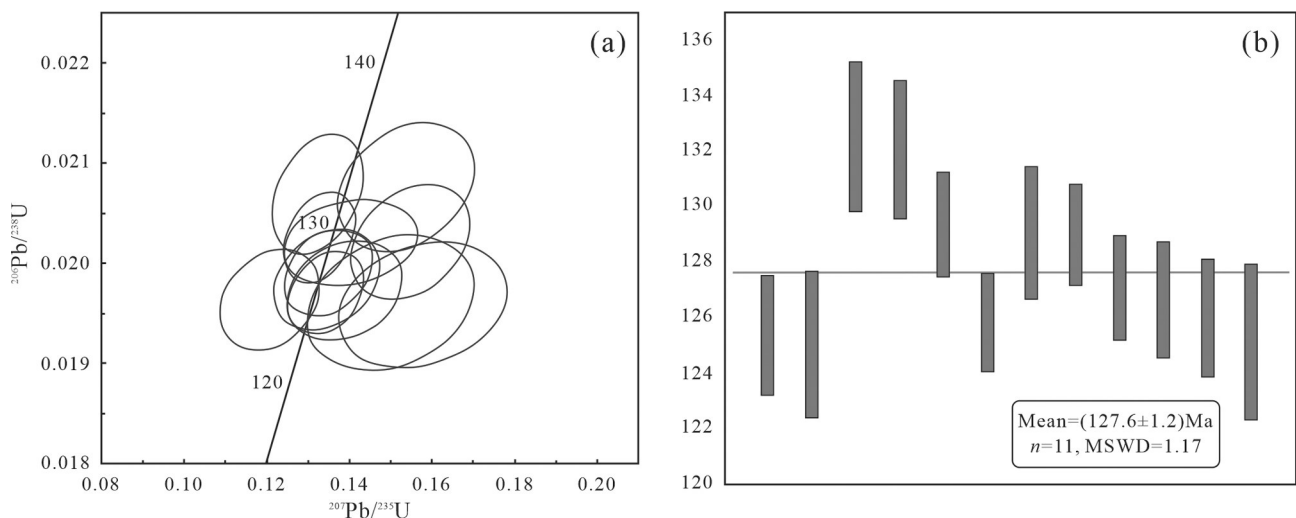


图6 白音高老组流纹岩(U-Pb20171008)锆石年龄谐和图(a)与锆石加权平均年龄图(b)
Fig.6 Zircon U-Pb concordia plot (a) and the weighted average age (b) of rhyolites in Baiyingaolao Formation

表2 白音高老组流纹岩微量元素(10^{-6})分析结果
Table 2 The result of trace elements (10^{-6}) for rhyolites in Baiyingaolao Formation

样号	61	64	71	72	73
Rb	128	124	130	138	140
Ba	807	478	875	886	851
Th	13.1	13.2	11.4	12.3	11.8
U	3.17	3.17	2.50	2.63	2.45
Nb	13.2	12.3	14.6	15.5	15.1
Sr	411	66.0	204	202	206
Zr	188	113	242	252	233
Hf	5.48	4.10	6.82	7.18	6.71
La	44.3	43.0	40.1	42.8	42.6
Ce	81.9	78.8	75.9	81.5	82.8
Pr	8.63	7.72	8.11	8.75	8.70
Nd	31.4	26.7	29.6	31.7	31.4
Sm	5.26	4.19	4.91	5.46	5.32
Eu	1.31	0.68	1.09	1.18	1.12
Gd	5.19	4.12	4.55	5.20	5.10
Tb	0.67	0.52	0.58	0.70	0.69
Dy	3.40	2.80	2.97	3.61	3.59
Ho	0.67	0.57	0.59	0.72	0.73
Er	2.11	1.84	1.83	2.22	2.29
Tm	0.30	0.27	0.27	0.34	0.34
Yb	2.10	1.90	1.91	2.33	2.38
Y	20.8	17.5	16.9	20.5	21.2
Lu	0.33	0.30	0.31	0.37	0.39
ΣREE	187.58	173.42	172.72	186.88	187.44
LREE	172.80	161.09	159.71	171.39	171.94
HREE	14.78	12.32	13.01	15.49	15.51
LREE/HREE	11.69	13.08	12.28	11.06	11.09
(La/Yb) _N	15.14	16.24	15.07	13.18	12.84
(Ce/Yb) _N	10.83	11.52	11.04	9.72	9.66
(La/Sm) _N	6.04	7.36	5.86	5.63	5.75
(Gd/Yb) _N	2.04	1.79	1.97	1.85	1.77
(La/Lu) _N	14.37	15.49	13.93	12.33	11.95
δEu	0.76	0.50	0.69	0.67	0.65
Rb/Sr	0.31	1.88	0.64	0.68	0.68
Ti/Zr	13.01	8.35	7.37	7.04	7.57
Sr/Ba	0.51	0.14	0.23	0.23	0.24
Nb/Ta	10.91	11.83	13.04	12.70	12.48
Zr/Hf	34.31	27.56	35.48	35.10	34.72
U/Th	0.24	0.24	0.22	0.21	0.21

表3 白音高老组流纹岩样品(U-Pb20171008)锆石LA-ICP-MS U-Pb分析结果
Table 3 Zircon LA-ICP-MS U-Pb date of rhyolites in Baiyingaolao Formation

样品号	含量/ 10^{-6}		Th/U	同位素比值		年龄/Ma		谱和度								
	Th	U		$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$									
1008-01	297.9	337.8	8.2	0.88	0.0029	0.0446	0.1206	0.0080	0.0196	188.865	627.795	115.6511	7.244443	125.3222	2.147573	91%
1008-02	70.3	114.2	2.6	0.62	0.0058	0.0594	0.1577	0.0137	0.0196	208.3075	583.36	148.7008	12.00072	124.9991	2.642616	82%
1008-03	146.8	123.2	3.4	1.19	0.0040	0.0552	0.1540	0.0111	0.0208	158.3175	420.42	145.4599	9.73716	132.4722	2.708858	90%
1008-05	389.6	449.6	11.2	0.87	0.0022	0.0481	0.1328	0.0057	0.0203	107.39	101.94	126.5952	5.120442	129.2954	1.902774	97%
1008-06	369.9	543.1	12.7	0.68	0.0024	0.0498	0.1341	0.0063	0.0197	111.095	187.12	127.736	5.6076	125.7955	1.752871	98%
1008-08	151.5	312.6	7.2	0.48	0.0029	0.0473	0.1323	0.0073	0.0207	149.98	61.205	126.177	6.547312	132.0227	2.523018	95%
1008-09	264.5	398.0	9.2	0.66	0.0039	0.0569	0.1548	0.0096	0.0202	153.682	487.08	146.116	8.458444	129.0224	2.416203	87%
1008-10	230.0	243.8	6.3	0.94	0.0044	0.0515	0.1403	0.0108	0.0202	199.05	264.88	133.2892	9.65265	128.9233	1.818595	96%
1008-11	351.7	436.4	10.6	0.81	0.0027	0.0495	0.1349	0.0071	0.0199	125.9075	172.305	128.5334	6.335238	127.0705	1.867203	98%
1008-12	170.4	273.5	6.3	0.62	0.0030	0.0497	0.1346	0.0085	0.0198	142.5725	188.97	128.2296	7.610897	126.6024	2.101274	98%
1008-13	188.1	289.2	6.7	0.65	0.0038	0.0519	0.1390	0.0093	0.0197	166.645	283.395	132.1492	8.29192	125.9445	2.115494	95%
1008-15	102.3	137.9	3.2	0.74	0.0048	0.0566	0.1500	0.0134	0.0196	188.865	475.97	141.9466	11.87444	125.0901	2.83189	87%

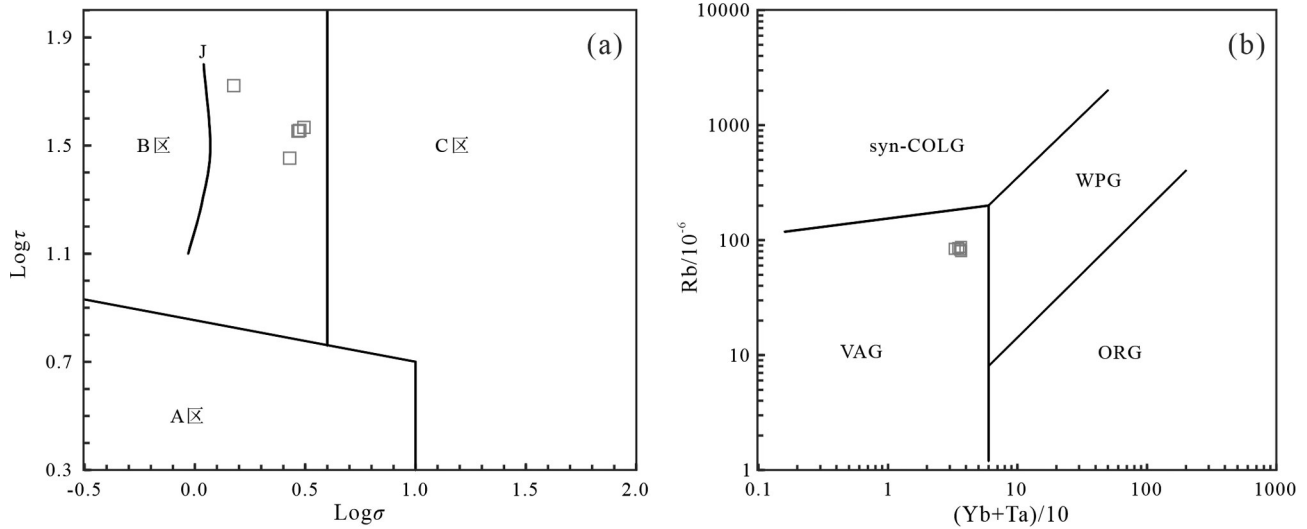


图7 白音高老组流纹岩 $\log\tau$ - $\log\delta$ 图解(a, 据 Rittmann, 1973) 与 Rb-(Y+Nb) 图解(b, 据 Pearce et al., 1984)
A区—非造山带地区火山岩; B区—造山带地区火山岩; C区—A区、B区派生的碱性、富碱岩; J—日本火山岩; syn-COLG—同碰撞花岗岩;
WPG—板内花岗岩; VAG—火山弧花岗岩; ORG—洋脊花岗岩

Fig.7 ($\log\tau$ - $\log\delta$) diagram (a, after Rittmann, 1973) and Rb-(Y+Nb) diagram (b, after Pearce et al., 1984) for rhyolites in Baiyingaolao Formation

A—Anorogenic volcanic; B—Orogenic volcanic; C—Alkaline and alkali-rich rocks derived from A and B; J—Japanese volcanic; syn-COLG—Syn-collision granite; VAG—Volcanic arc granite; WPG—Within-plate granite; ORG—Oceanic ridge granite

属早白垩世。

6 构造环境探讨

目前对于大兴安岭地区中生代形成的构造背景主要有3种观点:(1)地幔柱活动或相关的板内作用;(2)古太平洋板块的俯冲作用及俯冲后的伸展;(3)蒙古—鄂霍茨克洋闭合后的造山后伸展作用。

在 $\log\tau$ - $\log\delta$ 图解中(图7a),样品均落入B区,为造山带(岛弧及活动大陆边缘区)火山岩。在 Rb-(Y+Nb)图解(图7b)中,所有样品均落在岛弧火山岩区。综合表明样品具有岛弧火山岩的色彩。秦涛等(2014)在扎兰屯南部地区发现的白音高老组火山岩,认为形成于板内拉张环境,可能与古太平洋板块俯冲或蒙古—鄂霍茨克洋闭合后伸展环境有关,聂立军等(2015)认为阿尔山—柴河地区白音高老组流纹岩形成于早白垩世板内伸展环境,与太平洋板块俯冲关系密切,谭皓元等(2017)在索伦地区也发现了与太平洋板块俯冲关系密切的音高老组火山岩。

目前虽然对于太平洋板块俯冲作用开始的时间还有争议,但是岩石学、同位素以及年代学研究表明,这个时间最早可以追溯到晚侏罗世期间或者

更早。在大兴安岭地区,由于早白垩世火成岩沿环太平洋带线状分布,并且随着远离海岸带,岩浆作用逐渐减弱并最终消失,因此火成岩的时空分布特征表明,太平洋板块的俯冲作用在岩石圈的拆沉减薄作用过程中有着重要的意义。区域上整个东亚地区在晚侏罗世—早白垩世早期正处于太平洋板块向东亚大陆俯冲的大背景下,形成了一系列的NE方向的火山—断陷、伸展盆地,由此分析认为,大兴安岭中段白音高老组流纹岩形成与太平洋板块俯冲关系密切。

综上所述,大兴安岭乌奴尔地区白音高老组流纹岩的形成构造背景可能与古太平洋板块向欧亚大陆之下俯冲作用有关。

7 结论

(1)大兴安岭乌奴尔地区白音高老组流纹岩锆石 U-Pb 年龄加权平均值为 (127.6 ± 1.2) Ma, 形成时代为早白垩世。

(2)大兴安岭乌奴尔地区白音高老组流纹岩属高硅高钾弱过铝质高钾钙碱性系列,轻、重稀土分异明显,具明显负 Eu 异常,大离子亲石元素 K、Rb、Ba 相对富集,亏损大离子亲石元素 Sr 和高场强元素

Nb、P、Ti。

(3)大兴安岭乌奴尔地区白音高老组流纹岩的形成构造背景可能与古太平洋板块向欧亚大陆之下俯冲作用有关。

Reference

- Ge Wenchun, Lin Qiang, Sun Deyou, Wu Fuyuan, Yuan Zhongkuan, Li Wenyuan, Chen Mingzhi, Yin Chenxiao. 1999. Geochemical characteristics of the Mesozoic basalts in Da Hinggan Ling: Evidence of the mantle– crust interaction[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 15(3): 396–407 (in Chinese with English abstract).
- Ge Wenchun, Lin Qiang, Sun Deyou, Wu Fuyuan, Li Xianhua. 2000. Geochemical research into origins of two types of Mesozoic rhyolites in Daxing'anling[J]. *Earth Science*, 25(2): 172–178 (in Chinese with English abstract).
- Gou Jun, Sun Deyou, Zhao Zhonghua, Ren Yunsheng, Zhang Xueyuan, Fu Changliang, Wang Xi, Wei Hongyan. 2010. Zircon LA– ICP MS U– Pb dating and petrogenesis of rhyolites in Baiyingaolao Formation from the southern Manzhouli, Inner Mongolia[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 26(1): 333–344 (in Chinese with English abstract).
- Li Shichao, Xu Zhongyuan, Liu Zhenghong, Li Yongfei, Wang Xingan, Zhang Chao, Fan Zhiwei. 2013. Zircon U– Pb dating and geochemical study of volcanic rocks in Manitu Formation of central Da Hinggan mountains[J]. *Geological Bulletin of China*, 32(2): 399–407 (in Chinese with English abstract).
- Li Yujuan. 2021. Geochronology and geochemistry of the volcanics in the Zamuting, Inner Mongolia and its transformation of Mesozoic tectonic system[J]. *Geology in China*, 48(1): 264–283 (in Chinese with English abstract).
- Lin Qiang, Ge Wenchun, Sun Deyou, Wu Fuyuan, Yuan Zhongkuan, Min Gengde, Chen Mingzhi, Li Wenyuan, Quan Zhicun, Yin Chene. 1998. Tectonic significance of Mesozoic volcanic rocks in northeastern China[J]. *Scientia Geologica Sinica*, (2): 129–139 (in Chinese with English abstract).
- Lin Qiang, Ge Wenchun, Cao Lin, Sun Deyou, Lin Jingguo. 2003. Geochemistry of Mesozoic volcanic rocks in Da Hinggan Ling: The bimodal volcanic rocks[J]. *Geochimica*, 32(3): 208–222 (in Chinese with English abstract).
- Meng Q R. 2003. What drove Late Mesozoic extension of the northern China–Mongolia tract?[J]. *Tectonophysics*, 369(3/4): 155–174.
- Nie Lijun, Jia Haiming, Wang Cong, Lu Xingbo. 2015. Chronology, geochemistry of rhyolites from Baiyingaolao Formation in the middle part of Da Hinggan Mountains and its tectonic implications[J]. *Global Geology*, 34(2): 296–304 (in Chinese with English abstract).
- Pearce J A, Harris N B W, Tindle A G. 1984. Trace element discrimination diagrams for the tectonic interpretation of granitic rocks[J]. *Journal of Petrology*, (25): 956–983.
- Qin Tao, Zheng Changqing, Cui Tianri, Li Linchuan, Qian Cheng, Chen Huijun. 2014. Volcanic rocks of the Baiyingaolao Formation in the southwest of Zhalantun, Inner Mongolia[J]. *Geology and Resources*, 23(2): 146–153 (in Chinese with English abstract).
- Rittmann A. 1973. *Stable Mineral Assemblages of Igneous Rock*[M]. Berlin: Heideberg Springer, 1–262.
- Shao Jidong, Tan Qiang, Wang Hui, Zhang Ming, He Hongyun. 2011. The Mesozoic strata and the Jurassic–Cretaceous boundary in the Daxinganling Region[J]. *Geology and Resource*, 20(1): 4–11 (in Chinese with English abstract).
- Sun Deyou, Gou Jun, Ren Yunsheng, Fu Changliang, Wang Xi, Liu Xiaoming. 2011. Zircon U– Pb dating and study on geochemistry of volcanic rocks in Manitu Formation from southern Manchuria, Inner Mongolia[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 27(10): 3083–3094 (in Chinese with English abstract).
- Sun S S, McDonough W F. 1989. Chemical and isotopic systematics of oceanic basalts: Implications for mantle compositions and processes[J]. *Geological Society London Special Publications*, 42(1): 313–345.
- Tan Haoyuan, He Zhonghua, Chen Fei, Du Yuedan, Ren Zihui. 2017. Zircon U– Pb ages and geochemical characteristics of volcanic rocks in Baiyingaolao Formation of Suolun area within central Da Hinggan Mountains and their tectonic implications[J]. *Geological Bulletin of China*, 36(5): 893–908 (in Chinese with English abstract).
- Wang Jianguo, He Zhongyue, Xu Wenliang. 2013. Petrogenesis of riebeckite rhyolites in the southern Da Hinggan Mts: Geochronological and geochemical evidence[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 29(3): 853–863 (in Chinese with English abstract).
- Yang Yajun, Yang Xiaoping, Jiang Bin, Wang Yan, Pang Xuejiao. 2022. Spatio–temporal distribution of Mesozoic volcanic strata in the Great Xing'an Range: Response to the subduction of the Mongol– Okhotsk and Paleo– Pacific Ocean[J]. *Earth Science Frontiers*, 29(2): 115–131 (in Chinese with English abstract).
- Yan Pengbing, Gao Dafei, Li Ying, Jiang Xiaojun, Xue Wei. 2023. Zircon U– Pb dating, geochemical characteristics and geological significance of the volcanic rocks in the Baiyingaolao Formation in Zhengxiangbaiqi area, Inner Mongolia[J]. *Journal of East China University of Technology (Natural Science)*, 46(4): 337–350 (in Chinese with English abstract).
- Zhang J H, Ge W C, Wu F Y, Wilde S A, Yang J H, Liu X M. 2008. Large– scale Early Cretaceous volcanic events in the northern Great Xing'an Range, northeastern China[J]. *Lithos*, 102(1): 138–157.
- Zhang Jiheng. 2005. *Geochronological Framework of the Mesozoic Volcanic Rocks in the Great Xing'an Range, NE China*[D]. Changchun: Jilin University (in Chinese with English abstract).
- Zhang Jiheng. 2009. *Geochronology and Geochemistry of the Mesozoic Volcanic Rocks in the Great Xing'an Range*,

- Northeastern China[D]. Wuhan: China University of Geosciences (in Chinese with English abstract).
- Zhang Jian, Zhang Yuqing, Zhang Yongqing. 2021. Zircon U-Pb age of Baiyingaolao Formation dacite in Chaganchulute of Zhalute Banner, Inner Mongolia[J]. *Geology in China*, 48(6): 1984-1986 (in Chinese with English abstract).
- Zhang Letong, Li Shichao, Zhao Qingying, Li Xuefei, Wang Lu, Li Zhihao. 2015. Formation age and geochemical characteristics of volcanic rocks Baiyingaolao Formation of middle Da Hinggan mountains[J]. *Global Geology*, 34(1): 44-54 (in Chinese with English abstract).
- Zhao Yue, Yang Zhenyu, Ma Xinghua. 1994. Geotectonic transition from paleo-Asian system and paleo-Tethyan system to paleo-Pacific active continental Margin in eastern Asia[J]. *Chinese Journal of Geology*, (2): 105-119 (in Chinese with English abstract).
- ### 附中文参考文献
- 葛文春, 林强, 孙德有, 吴福元, 元钟宽, 李文远, 陈明植, 尹成孝. 1999. 大兴安岭中生代玄武岩的地球化学特征: 壳幔相互作用的证据[J]. *岩石学报*, 15(3): 396-407.
- 葛文春, 林强, 孙德有, 吴福元, 李献华. 2000. 大兴安岭中生代两类流纹岩成因的地球化学研究[J]. *地球科学*, 25(2): 172-178.
- 苟军, 孙德有, 赵忠华, 任云生, 张学元, 付长亮, 王晰, 魏红艳. 2010. 满洲里南部白音高老组流纹岩锆石U-Pb定年及岩石成因[J]. *岩石学报*, 26(1): 333-344.
- 李世超, 徐仲元, 刘正宏, 李永飞, 王兴安, 张超, 范志伟. 2013. 大兴安岭中段玛尼吐组火山岩LA-ICP-MS锆石U-Pb年龄及地球化学特征[J]. *地质通报*, 32(2): 399-407.
- 李玉娟. 2021. 内蒙古扎木廷火山岩年代学、地球化学与中生代构造体制转换[J]. *中国地质*, 48(1): 264-283.
- 林强, 葛文春, 孙德有, 吴福元, 元钟宽, 闵庚德, 陈明植, 李文远, 权致纯, 尹成. 1998. 中国东北地区中生代火山岩的大地构造意义[J]. *地质科学*, (2): 129-139.
- 林强, 葛文春, 曹林, 孙德有, 林经国. 2003. 大兴安岭中生代双峰式火山岩的地球化学特征[J]. *地球化学*, 32(3): 208-222.
- 聂立军, 贾海明, 王聪, 卢兴波. 2015. 大兴安岭中段白音高老组流纹岩年代学、地球化学及其地质意义[J]. *世界地质*, 34(2): 296-304.
- 秦涛, 郑常青, 崔天日, 李林川, 钱程, 陈会军. 2014. 内蒙古扎兰屯地区白音高老组火山岩地球化学、年代学及其地质意义[J]. *地质与资源*, 23(2): 146-153.
- 邵积东, 谭强, 王惠, 张明, 贺宏云. 2011. 大兴安岭地区中生代地层特征及侏罗-白垩纪界限的讨论[J]. *地质与资源*, 20(1): 4-11.
- 孙德有, 苟军, 任云生, 付长亮, 王晰, 柳小明. 2011. 满洲里南部玛尼吐组火山岩锆石U-Pb年龄与地球化学研究[J]. *岩石学报*, 27(10): 3083-3094.
- 谭皓元, 和钟铎, 陈飞, 杜岳丹, 任子慧. 2017. 大兴安岭中段索伦地区白音高老组火山岩锆石U-Pb年龄、地球化学特征及构造意义[J]. *地质通报*, 36(5): 893-908.
- 王建国, 和钟华, 许文良. 2013. 大兴安岭南端钠闪石流纹岩的岩石成因年代学及地球化学证据[J]. *岩石学报*, 29(3): 853-863.
- 杨雅军, 杨晓平, 江斌, 汪岩, 庞雪娇. 2022. 大兴安岭中生代火山岩地层时空分布与蒙古-鄂霍茨克洋、古太平洋板块俯冲作用响应[J]. *地学前缘*, 29(2): 115-131.
- 剡鹏兵, 高大飞, 李颖, 蒋孝君, 薛伟. 2023. 内蒙古正镶白旗地区白音高老组火山岩锆石U-Pb测年、地球化学特征及其地质意义[J]. *东华理工大学学报(自然科学版)*, 46(4): 337-350.
- 张吉衡. 2005. 大兴安岭中生代火山岩的年代学格架[D]. 长春: 吉林大学.
- 张吉衡. 2009. 大兴安岭中生代火山岩年代学及地球化学研究[D]. 武汉: 中国地质大学.
- 张建, 张玉清, 张永清. 2021. 内蒙古扎鲁特旗查干楚鲁特白音高老组英安岩锆石U-Pb年龄[J]. *中国地质*, 48(6): 1984-1986.
- 张乐彤, 李世超, 赵庆英, 李雪菲, 王璐, 李子昊. 2015. 大兴安岭中段白音高老组火山岩的形成时代及地球化学特征[J]. *世界地质*, 34(1): 44-54.
- 赵越, 杨振宇, 马醒华. 1994. 东亚大地构造发展的重要转折[J]. *地质科学*, (2): 105-119.